Categorizzazione Socio-Ecologica dei Consumi Energetici dell'Intelligenza Artificiale: Tassonomia di Utilità Sociale, Limiti Planetari e Framework Metrologico

La rapida espansione dei sistemi di Intelligenza Artificiale (IA) ha innescato un profondo riassetto delle infrastrutture energetiche e industriali su scala globale. La percezione dell'IA come tecnologia immateriale contrasta nettamente con la sua tangibile impronta ecologica, caratterizzata da consumi elettrici in forte crescita, prelievi idrici rilevanti ed estrazione intensiva di risorse minerali. Di fronte alla necessità di mantenere le attività umane all'interno dei limiti planetari (*planetary boundaries*), si impone un'analisi critica volta a categorizzare l'impiego energetico dell'IA non soltanto mediante metriche assolute di consumo, ma secondo un principio di utilità sociale ed essenzialità per la sopravvivenza e il benessere dell'umanità.

1. L'Architettura Fisico-Computazionale e la Metamorfosi dei Consumi dell'IA

1.1 Il Rilancio dell'Inference e la Frattura Architettural-Funzionale

L'impatto energetico dell'IA si articola in due fasi distinte del ciclo di vita del software: l'addestramento (*training*) e l'inferenza (*inference*). Sebbene la letteratura scientifica e il dibattito pubblico si siano storicamente concentrati sull'impronta carbonica delle fasi di addestramento — in cui la formazione di un singolo modello di grandi dimensioni (LLM) può assorbire milioni di chilowattora (kWh) ed emettere centinaia di tonnellate di \text{CO}_2 equivalente — il paradigma dei consumi è strutturalmente mutato.

L'integrazione pervasiva di funzionalità generative nei servizi digitali quotidiani ha reso l'inferenza il driver dominante della domanda energetica globale dell'IA, rappresentando oltre l'80% della capacità computazionale totale impiegata. A differenza dell'addestramento, che costituisce un costo energetico *una tantum* limitato nel tempo, l'inferenza genera un flusso continuo e cumulativo di consumi direttamente proporzionale al volume delle interrogazioni degli utenti.

Sotto il profilo dell'efficienza computazionale, esiste un divario netto tra le architetture generative multiscopo (*multi-purpose generative models*) e le architetture specializzate (*task-specific models*). I modelli generativi di grandi dimensioni richiedono quantitativi di energia drasticamente superiori per eseguire compiti semplici rispetto a modelli più piccoli e ottimizzati. Ad esempio, l'impiego di un LLM generativo per compiti di classificazione semantica o analisi del testo consuma circa 30 volte più energia rispetto a un modello specializzato affinato (*fine-tuned*) per il medesimo obiettivo. Analogamente, l'esecuzione di una ricerca web tramite query testuale generativa assorbe all'incirca dieci volte l'energia richiesta da un motore di

ricerca di tipo tradizionale.

1.2 Impronta Materiale, Tensioni Infrastrutturali e il Paradosso di Jevons

La domanda energetica dei data center globali — l'infrastruttura critica per l'addestramento e l'esecuzione dell'IA — si è attestata a circa 415-485 TWh tra il 2024 e il 2025, pari all'1,5%-2% del consumo elettrico mondiale, con proiezioni che stimano un raddoppio fino a circa 945-1000 TWh entro il 2030. La quota di energia elettrica assorbita specificamente dai data center dedicati all'IA è cresciuta del 50% su base annua, con una traiettoria destinata a triplicare entro il 2030. Negli Stati Uniti, la quota dei data center sul consumo elettrico nazionale ha raggiunto il 4,4% e potrebbe toccare il 7,4% entro il 2030.
Questa accelerazione genera gravi tensioni sulle reti elettriche regionali e locali. L'analisi del contesto italiano offre un chiaro esempio di tale fenomeno: a metà del 2025, il gestore della rete di trasmissione nazionale (Terna) ha registrato richieste di connessione alla rete elettrica per oltre 80 GW relative a progetti di data center, concentrati in prevalenza nell'Italia settentrionale e in particolare in Lombardia. Tale volume rappresenta un multiplo straordinario della capacità storica installata e minaccia la stabilità della rete, che deve fare i conti con picchi repentini di carico dei server IA superiori al 50% della capacità nominale nell'arco di un singolo secondo.
L'impatto ecologico si estende ben oltre il consumo di elettricità, manifestandosi attraverso il prelievo e il consumo di risorse idriche per il raffreddamento dei server. È stato stimato che l'elaborazione di un numero compreso tra 10 e 50 query su un modello di generazione testuale di classe GPT-3 richieda l'evaporazione di circa mezzo litro di acqua dolce. In regioni affette da stress idrico, questo fabbisogno entra in diretta competizione con il consumo umano e agricolo, costringendo giurisdizioni come l'Irlanda e i Paesi Bassi ad adottare moratorie temporanee sulla costruzione di nuovi impianti.
L'illusione che l'aumento dell'efficienza energetica per singolo calcolo possa contrarre spontaneamente l'impronta ecologica dell'IA scontra con la dinamica strutturale del Paradosso di Jevons. Quando l'innovazione tecnologica e hardware abbatte l'energia necessaria per generare un singolo token o completare un'operazione d'inferenza — riducendo i costi marginali di elaborazione dell'informazione di ordini di grandezza — si innesca un abbassamento della soglia d'accesso economico e computazionale. Questo decremento unitario stimola un'adozione pervasiva e l'invenzione di una pletora di nuovi casi d'uso ad alta frequenza, provocando un effetto rimbalzo (*rebound effect*) che incrementa il consumo energetico complessivo cumulativo. Di conseguenza, l'efficienza non convertita in vincoli e cap infrastrutturali finisce per fungere da acceleratore dell'espansione energetica globale dell'IA.

2. Tassonomia Settoriale dell'Utilità Sociale e Valutazione di Essenzialità

Per determinare quali applicazioni dell'IA giustifichino l'allocazione di risorse energetiche e idriche e quali debbano essere limitate o subordinate alla tutela dei limiti planetari, è necessario definire una tassonomia socio-ecologica basata su quattro livelli di utilità.

2.1 Mappatura Sistemica dell'IA nei Settori Chiave

Livello I: Servizi Essenziali a Ritorno Sistemico Netto (Priorità Massima)

Fanno parte del primo livello le applicazioni in cui l'impiego dell'IA produce una riduzione netta dei consumi energetici globali o affronta crisi umane ed ecologiche fondamentali. Nella gestione delle reti elettriche e delle infrastrutture energetiche (*AI for Grid*), l'IA viene utilizzata per la manutenzione predittiva delle linee, il bilanciamento dinamico dei carichi, la previsione dell'output da fonti rinnovabili aleatorie (fotovoltaico ed eolico) e l'ottimizzazione automatizzata delle stazioni di ricarica per veicoli elettrici. L'applicazione dell'IA nella rete trasmissiva permette di sbloccare capacità di trasporto dell'elettricità senza dover costruire nuove linee fisiche, generando un risparmio netto di risorse ed emissioni.
Nel settore medico e sanitario, l'IA sostiene la diagnostica per immagini, la genomica computazionale, la modellazione delle strutture proteiche per la scoperta di farmaci e il supporto decisionale nelle regioni a basso reddito. A fronte di circa 4,5 miliardi di persone che non hanno accesso a servizi sanitari essenziali e di una carenza prevista di 11 milioni di operatori sanitari entro il 2030, il valore sociale dell'IA in campo medico compensa ampiamente il costo energetico dell'elaborazione computazionale. Rientrano infine in questo livello le applicazioni di monitoraggio climatico, prevenzione dei disastri ambientali e mappatura dei flussi biogeochimici della Terra.

Livello II: Servizi Funzionali e Operativi (Priorità Condizionata all'Efficienza)

Il secondo livello comprende le applicazioni che migliorano l'efficienza dei processi economici, amministrativi e logistici, ma il cui impiego energetico deve essere rigorosamente regolamentato. Nel settore finanziario e assicurativo, l'IA è ampiamente adottata per l'individuazione automatizzata delle frodi, la valutazione del rischio di credito, la prevenzione dei reati finanziari e l'audit pubblico. Sebbene tali strumenti stabilizzino i mercati informativi, l'uso improprio di modelli generativi di grandi dimensioni per compiti che richiedono logiche deterministiche rappresenta uno spreco energetico ingiustificato, sostituibile con algoritmi tradizionali o modelli task-specific.
Nel settore commerciale e della catena di fornitura, l'IA ottimizza i percorsi di trasporto, la gestione delle scorte e la tracciabilità delle merci. In questi ambiti, l'idoneità dell'infrastruttura deve essere condizionata alla dimostrazione che il risparmio energetico indiretto ottenuto dalla razionalizzazione logistica sia superiore all'impronta computazionale diretta generata dall'inferenza dei server.

Livello III: Intrattenimento e Consumo Generativo Massivo (Bassa Utilità / Alto Rischio)

Il terzo livello raccoglie le applicazioni ad alta intensità computazionale orientate al consumo commerciale, ricreativo o pubblicitario, per le quali la necessità di limitare lo sviluppo di nuove strutture appare prioritaria. La generazione automatizzata di contenuti multimediali — in particolare la generazione di video tramite modelli text-to-video e l'elaborazione di immagini ad alta risoluzione — rappresenta la modalità d'inferenza più idrovora e ad alta intensità energetica dell'intero panorama informatico. La generazione di un singolo minuto di video generativo assorbe tra i 180 e i 1200 Wh, un valore superiore di vari ordini di grandezza rispetto alla generazione testuale e immensamente superiore allo streaming video convenzionale.
Nel settore del gaming, del tempo libero e della realtà virtuale, l'integrazione di agenti generativi non giocanti (NPC) e la rendering di ambienti 3D in tempo reale provocano una crescita

incontrollata dei consumi sui server cloud. Nel commercio elettronico e nel marketing automatizzato, i sistemi generativi volti all'iper-personalizzazione pubblicitaria e alla creazione massiva di contenuti promozionali rischiano di alimentare logiche di sovra-consumo di merci, generando un effetto rimbalzo indiretto a danno dell'ambiente.

Livello IV: Impieghi ad Alto Rischio o Distruttivi (A Utilità Sociale Negativa)

Il quarto livello comprende gli usi dell'IA il cui impatto è intrinsecamente controproducente per la collettività o distruttivo per la stabilità sociale, indipendentemente dal bilancio energetico. Vi rientrano i sistemi d'arma autonomi, le simulazioni belliche d'attacco e le tecnologie di sorveglianza di massa anti-democratica. Analogamente, l'impiego di modelli generativi per la produzione automatizzata di disinformazione, deepfake e contenuti manipolatori altera l'ecosistema informativo globale e degrada la fiducia nelle istituzioni, rappresentando un consumo di risorse energetiche a utilità sociale netta negativa.

2.2 Quadro Comparativo di Utilità Sociale ed Efficienza Energetica

Settore d'Impiego	Architettura Predominante	Intensità Energetica dell'Inferenza	Utilità Sociale Sistemica	Azione Regolatoria e Infrastrutturale
Grid Energetiche e Utilities	Modelli Predittivi / Reti Neurali Specializzate	Bassa (\sim 0,01 - 0,1 \text{ Wh/query})	Estrema (Abbatte le emissioni di rete)	**Allocazione Prioritaria** di capacità elettrica
Diagnostica e Medicina	Visione Artificiale / Task-Specific Fine-Tuned	Media (\sim 0,1 - 1,0 \text{ Wh/query})	Altissima (Salva vite, riduce i gap sanitari)	**Allocazione Garantita** con audit d'efficienza
Finanza e Assicurazioni	Modelli Discriminativi / Tabular Machine Learning	Bassa (\sim 0,05 - 0,2 \text{ Wh/query})	Media (Efficienza operativa di mercato)	**Obbligo di Modelli Specializzati** (No LLM)
Commercio e Marketing	Generazione Testuale / Agenti LLM Generativi	Elevata (\sim 1,0 - 5,0 \text{ Wh/query})	Bassa-Neutra (Rischio over-consumption)	**Tassazione Ambientale** e limiti alle API generatrici
Generazione Video/Immagini	Modelli di Diffusione / Generazione Multimodale	Estrema (\sim 180 - 1200 \text{ Wh/video})	Bassa (Intrattenimento e media sintetici)	**Cap Infrastrutturale** e contingentamento delle risorse
Gaming e Tempo Libero	Generazione 3D / Agenti in Tempo Reale	Molto Elevata (\sim 10 - 50 \text{ Wh/sessione})	Bassa (Ricreazione e intrattenimento)	**Soglie di Efficienza** e penalizzazioni per carichi di picco
Militare e Disinformazione	Agenti Autonomi / Generazione Sintetica	Variabile (Media-Elevata)	Negativa / Contraria all'Etica e alla Società	**Divieto di Incentivazione** e vincoli sui data center

3. Framework Metrologico: Misurare la Valenza Sociale ed Ecologica dell'IA

Fornire una risposta rigorosa all'interrogativo circa la possibilità di "fare al tutto misura" richiede lo sviluppo e l'integrazione di metriche capaci di coniugare l'ingegneria energetica con le scienze economico-sociali. Non è sufficiente quantificare i terawattora assorbiti; è indispensabile misurare il *valore sociale netto generato per unità di risorsa biofisica consumata*.

3.1 La Formula del Social Return on Investment (SROI) Applicata al Compute

Il framework del *Social Return on Investment* (SROI) consente di monetizzare e valorizzare gli impatti sociali ed ambientali, diretti e indiretti, di un'infrastruttura computazionale. Applicato all'IA, il rapporto SROI definisce la relazione tra i benefici netti attualizzati e il costo complessivo delle risorse:
SROI_{IA} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{Beneficio\ Sociale\ Netto_t}{(1 + r)^t}}{Costo\ Totale\ dell'Infrastruttura\ e\ della\ Risorsa_t}
Il calcolo del beneficio sociale netto per ogni specifico risultato richiede l'applicazione di quattro correttivi metodologici indispensabili per eliminare distorsioni ed evitare sovrastime del valore generato:
Beneficio\ Sociale\ Netto = Q \times P \times (1 - D) \times (1 - A) \times (1 - S)
I parametri del modello metrologico si definiscono come segue:

- Q (*Quantità*): Il numero di persone o processi che beneficiano dell'applicazione dell'IA (es. pazienti diagnosticati, kWh risparmiati sulla rete).
- P (*Proxy Finanziario*): Il valore monetario attribuito al beneficio sociale o ambientale (es. costo sociale della tonnellata di carbonio evitata \text{gCO}_2\text{e}, risparmio di costi sanitari).
- D (*Deadweight*): La quota percentuale di beneficio che si sarebbe verificata ugualmente, anche senza l'adozione dell'IA.
- A (*Attribution*): La percentuale di beneficio riconducibile ad altri fattori concomitanti o ad altre tecnologie.
- S (*Displacement*): Lo spiazzamento, ossia la quota di beneficio che ha semplicemente trasferito un problema o un costo in un altro settore dell'ecosistema.
- r: Il tasso di sconto sociale applicato sui benefici futuri.
- *Costo Totale*: Comprende i costi d'investimento finanziario (CAPEX), i costi operativi (OPEX), e il costo monetizzato delle esternalità negative ambientali (energia primaria prelevata, acqua consumata, e-waste generato).

Attraverso questo modello, un'infrastruttura IA dedicata all'ottimizzazione delle reti elettriche esibirà un indice SROI_{IA} \gg 1, segnalando una creazione di valore sociale netta ampiamente superiore al costo delle risorse assorbite. Al contrario, un data center dedicato alla generazione massiva di contenuti video promozionali otterrà un valore SROI_{IA} < 1, evidenziando come l'attività distrugga valore sociale ed ecologico rispetto alle risorse impiegate.

3.2 Metmetriche di Ingegneria Ambientale e Regolamentazione Europea

A livello di infrastruttura fisica, la misurazione del consumo energetico dell'IA si avvale di indicatori standardizzati codificati dalla legislazione europea, in particolare dalla Direttiva (UE) 2023/1791 sull'efficienza energetica e dal Regolamento Delegato (UE) 2024/1364:

1. **Power Usage Effectiveness (PUE)**: Rappresenta il rapporto tra l'energia elettrica totale assorbita dal data center e l'energia effettivamente consegnata alle apparecchiature IT: PUE = \frac{Energia\ Totale\ del\ Data\ Center}{Energia\ Apparecchiature\ IT} La normativa europea definisce le classi di efficienza da **A** (PUE \le 1,15, eccellenza iperscalabile) a **E** (PUE > 1,5, inefficienza strutturale).
2. **Energy Reuse Factor (EREUSE)**: Misura la frazione di calore di scarto recuperata e riutilizzata per usi utili all'esterno del data center (es. teleriscaldamento urbano).
3. **Water Usage Effectiveness (WUE)**: Definisce i litri di acqua dolce consumati per chilowattora computazionale erogato (L/kWh), parametro critico per valutare la sostenibilità locale dei sistemi di raffreddamento evaporativo.
4. **Energia per Inferenza / Token (Wh/token)**: La metrica micro-computazionale che misura i wattora assorbiti per generare un singolo elemento di output informativo, evidenziando le differenze tra modelli generativi ed esecutivi.

3.3 Downscaling dei Limiti Planetari e Allocazione delle Risorse

Per rendere operativo il modello dei Limiti Planetari all'interno delle politiche industriali del settore digitale, si rende necessario un processo di *downscaling* multilivello. Questo approccio parte dalle nove soglie biofisiche globali — quali il cambiamento climatico, l'uso dell'acqua dolce, l'integrità della biosfera e i flussi biogeochimici, di cui sei risultano già superate a livello globale — e le traduce in budget ecologici e territoriali definiti a livello di Unione Europea e dei singoli Stati membri.
All'interno di questi budget nazionali viene allocato un tetto massimo di risorse energetiche e idriche destinato al comparto ICT e ai data center. Infine, la distribuzione della quota computazionale autorizzata tra i diversi attori industriali e applicativi viene regolata in base all'indice SROI, concedendo priorità d'accesso e capacità di rete ai servizi ad altissima utilità sociale (come le infrastrutture sanitarie e di rete) e imponendo restrizioni o il contingentamento delle risorse per le applicazioni ad alta intensità e ridotta utilità collettiva.

4. Governance Strategica, Pianificazione Ecologica e Mitigazione del Rischio

La presa di coscienza dei limiti fisici impone una transizione da un modello di crescita svincolato a una *pianificazione ecologica del digitale*. Tale approccio richiede l'adozione di misure regolatorie e architetturali volte a disciplinare l'espansione dell'infrastruttura computazionale.

4.1 Meccanismi di Razionamento e Cap Energetici

Per evitare che l'espansione dei data center comprometta le politiche di decarbonizzazione dei paesi ospitanti, si profilano diversi strumenti normativi e regolatori:

- **Cap Energetici Nazionali e Regionali**: Definizione di un tetto massimo al consumo elettrico della filiera digitale (ad esempio fissando un limite massimo di assorbimento della rete per i data center a 5, 10 e 25 anni), vincolando i nuovi allacciamenti alla disponibilità di nuova capacità rinnovabile addizionale e non alla rete esistente.

- **Pianificazione degli Allacciamenti basata sull'Utilità**: Gli operatori di rete (come Terna in Italia) ed i regolatori dell'energia devono poter prioritizzare le richieste di connessione dei data center in base all'uso finale prevalente e all'indice SROI atteso dalle strutture, subordinando l'autorizzazione di carichi elevati alla destinazione d'uso per servizi essenziali.
- **Condizionalità Ambientali per i Data Center**: Inclusione di obblighi stringenti stabiliti dalla Direttiva (UE) 2023/1791, quali l'appartenenza alle classi di efficienza PUE più elevate (Classe A o B), l'integrazione obbligatoria con sistemi di recupero del calore residuo per le comunità locali (EREUSE) e il divieto di raffreddamento ad acqua potabile evaporativa in aree a rischio siccità.

4.2 Dalla Generazione Multiscopo ai Modelli Task-Specific

Dal punto di vista della progettazione software, la risposta all'inadeguatezza energetica dell'IA risiede nel superamento del dogma della scalabilità ad ogni costo (*performance-at-all-costs*) a favore del paradigma *Clean by Design*. Tale transizione si basa su precise scelte tecniche:

- **Dimensionamento Corretto delle Architetture**: Sostituzione dei grandi modelli generativi multiscopo con modelli specializzati di dimensioni ridotte (1-7 miliardi di parametri), quantizzati a 4 od 8 bit e sottoposti a *fine-tuning* per compiti circoscritti, in grado di offrire prestazioni equivalenti con consumi energetici inferiori fino al 90%.
- **Orchestrators e Modelli Hybrid-RAG**: Utilizzo di agenti software intelligenti che instradano le richieste dell'utente verso modelli complessi solo quando strettamente necessario, risolvendo le query standard tramite basi di conoscenza locali, algoritmi deterministici o architetture di recupero informativo (*Retrieval-Augmented Generation*) a bassissimo consumo.
- **Trasparenza Informativa al Consumatore**: Introduzione di etichettature sull'impatto energetico delle query generatrici, rendendo consapevole l'utente del costo ecologico associato alle richieste di generazione multimediale non essenziale, al fine di mitigare l'effetto di consumo incontrollato favorito dalla gratuità apparente dei servizi.

5. Conclusioni

L'infrastruttura computazionale dell'Intelligenza Artificiale è un sistema fisico ancorato a precise leggi termodinamiche e vincolato dalle risorse limitate del pianeta. L'analisi dimostra che un'espansione indistinta e priva di regolamentazione dei data center rischia di trasformare l'IA in un acceleratore della crisi ecologica ed energetica, saturando le reti elettriche e vanificando gli sforzi di decarbonizzazione globale.
È tuttavia possibile stabilire un rigoroso criterio metrologico per indirizzare lo sviluppo della tecnologia: misurando il rapporto tra il valore sociale generato (SROI_{IA}) e l'impronta biofisica consumata, emerge la necessità di stabilire una gerarchia chiara nell'allocazione delle risorse. Mentre le applicazioni volte alla transizione energetica, alla diagnosi medica e alla tutela ambientale rappresentano impieghi essenziali che giustificano una priorità di accesso all'energia rinnovabile, le applicazioni generatrici a bassa utilità sociale (come la creazione massiva di video o immagini ad uso ricreativo e commerciale) richiedono un'attenta regolamentazione, incentrata su vincoli di efficienza, contingentamenti della capacità e penalizzazioni economiche per il consumo di picco. La sostenibilità futura dell'IA non dipenderà esclusivamente dalle capacità di calcolo dei suoi processori, ma dalla capacità istituzionale di sottomettere

l'architettura digitale alle priorità vitali dell'umanità e ai limiti invalicabili della biosfera.

Bibliografia

1. UN report warns AI boom could intensify pressure on water, land and climate systems, https://envirotecmagazine.com/2026/06/08/un-report-warns-ai-boom-could-intensify-pressure-on-water-land-and-climate-systems/ 2. From Stacks to Circuits: A Regenerative Socio- Technical Roadmap for AI Infrastructure within Planetary Boundaries - arXiv, https://arxiv.org/pdf/2606.10544 3. Planetary Boundaries: designing (fair?) limits to assess performance at the country level, https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-resource-management/articles/10.3389/fsrma.2025.1537031/full 4. AI Energy Consumption Statistics - AIMultiple, https://aimultiple.com/ai-energy-consumption 5. The carbon cost of intelligence: Aligning AI with planetary boundaries - Algorithma, https://www.algorithma.ai/articles/the-carbon-cost-of-intelligence-aligning-ai-with-planetary-boundaries 6. Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment? - arXiv, https://arxiv.org/html/2311.16863v3 7. AI : “We need ecological planning for digital technology over 5, 10, and 25 years.”, https://theshiftproject.org/en/publications/ai-op-ed/ 8. Executive summary – Key Questions on Energy and AI – Analysis - IEA, https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai/executive-summary 9. Una mappatura dei datacenter a livello mondiale - RiEnergia, https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/35982/Una+mappatura+dei+datacenter+a+livello+mondiale/Leichter+ 10. 3. Inventory of Reports on Sustainable AI, https://www.sustainableaicoalition.org/inventory-of-key-reports-on-sustainable-ai/ 11. From Efficiency Gains to Rebound Effects: The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate - arXiv, https://arxiv.org/pdf/2501.16548 12. Relazione Finanziaria Annuale 2025 - Terna, https://download.terna.it/terna/Terna_Relazione_Finanziaria_Annuale_2025_8de9f193139ef49.pdf 13. Proposed AI taxonomy for applications in the energy sector, with example use cases. - ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Proposed-AI-taxonomy-for-applications-in-the-energy-sector-with-example-use-cases_fig4_360751292 14. A sectoral taxonomy of AI intensity - OECD, https://www.oecd.org/en/publications/a-sectoral-taxonomy-of-ai-intensity_1f6377b5-en.html 15. AI and the energy sector | JRC SES - European Union, https://ses.jrc.ec.europa.eu/ai-and-energy-sector 16. Beyond AI's surging energy use: UN details escalating water, land, and CO2 emission consequences | EurekAlert!, https://www.eurekalert.org/news-releases/1128642 17. AI Utility: A Complete Industry Guide for 2026 - Truefoundry, https://www.truefoundry.com/blog/ai-utility-guide 18. Energy and AI - Microsoft .NET, https://iea.blob.core.windows.net/assets/de9dea13-b07d-42c5-a398-d1b3ae17d866/EnergyandAI.pdf 19. Planetary Boundaries Meet Future Engineers: An AI-Driven Exploration - CEUR-WS.org, https://ceur-ws.org/Vol-3951/paper-04.pdf 20. The ML.ENERGY Benchmark: Toward Automated Inference Energy Measurement and Optimization - arXiv, https://arxiv.org/html/2505.06371v2 21. Is AI Really the Energy Villain? - Muckypaws, https://muckypaws.com/2025/04/21/is-ai-really-the-energy-villain/ 22. Social Return on Investment - Umbrex, https://umbrex.com/resources/frameworks/strategy-frameworks/social-return-on-investment/ 23. SROI Calculator: Social Return on Investment Framework & Formula - Sopact,

https://www.sopact.com/use-case/social-return-on-investment-sroi 24. Frequently asked questions - Energy - European Union, https://energy.ec.europa.eu/document/download/2597a32b-c791-4d87-a9da-57b64a3c4d7d_en?filename=2026_07_03%20FAQ%20on%20European%20database%20on%20data%20centres%201v7-AA%281%29.pdf&prefLang=lt 25. Guide to the data points in the data centre register (DCReg) - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/RZReg/Downloads/guide-data-points-in-data-centre-register.pdf?__blob=publicationFile&v=1 26. Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1364 of 14 March 2024 on the first phase of the establishment of a common Union rating, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401364 27. Brussels, XXX […](2026) XXX draft ANNEXES 1 to 3 ANNEXES to the Delegated Act supplementing Directive (EU) 2023/1791 of the Eu, https://www.thegreenwebfoundation.org/wp-content/uploads/EU.datacentre.labelling.scheme-draft-annexes.Ares_.2026.3247482.pdf 28. The Communication on the European Green Deal - EUR-Lex, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=PI_COM:Ares(2023)8478399 29. Towards Sustainable NLP: Insights from Benchmarking Inference Energy in Large Language Models - ACL Anthology, https://aclanthology.org/2025.naacl-long.632v1.pdf